

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-247091

(43) 公開日 平成9年(1997)9月19日

(51) IntCl. <sup>4</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 4 B 10/02			H 0 4 B 9/00	M
10/18				E
H 0 4 J 14/00				
14/02				

審査請求 未請求 請求項の数18 O L (全 17 頁)

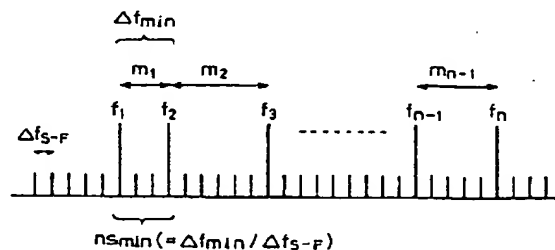
(21) 出願番号	特願平8-51803	(71) 出願人	000005223 富士通株式会社 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
(22) 出願日	平成8年(1996)3月8日	(72) 発明者	宮田 英之 神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地 富士通株式会社内
		(72) 発明者	尾中 寛 神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地 富士通株式会社内
		(72) 発明者	近関 輝美 神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地 富士通株式会社内
		(74) 代理人	弁理士 石田 敬 (外3名)

(54) 【発明の名称】 光伝送装置及び光伝送システム

(57) 【要約】

【課題】 波長分割多重 (WDM) 方式の光伝送において、4 光波混合の影響のない光周波数配置を提案する。

【解決手段】 間隔  $\Delta f_{S-F}$  のスロットを設定し、スロット上に配置された各チャネルの光周波数  $f_1 \sim f_n$  のスロット数で表わした光周波数差  $m_1, m_2, \dots, m_1 + m_2, \dots$  が互いに異なり、かつ、その合計  $m_1 + m_2 \dots m_{n-1}$  が最小となるように  $m_1, m_2 \dots m_{n-1}$  を決定する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 波長の異なる複数の光信号を多重化する光伝送装置であって、

該複数の光信号の少なくとも3つの光周波数は、3つ以上の光周波数の組合わせであってすべての2つの光周波数の差が互いに第1のセパレーション以上異なっているものに実質的に等しい光伝送装置。

【請求項2】 前記光周波数の組合わせにおける光周波数の各々は前記第1のセパレーションを間隔とする等間隔のスロットのいずれかに配置される請求項1記載の光伝送装置。

【請求項3】 前記光周波数の組合わせにおける光周波数は、8つの光周波数であって隣接する光周波数の差が第2のセパレーション以上であり、かつ、所要帯域幅が最小となるように決定されたものの少なくとも一部である請求項2記載の光伝送装置。

【請求項4】 前記第2のセパレーションは前記第1のセパレーションの2乃至4倍である請求項3記載の光伝送装置。

【請求項5】 前記第2のセパレーションは第1のセパレーションの3倍であり、  
前記8つの光周波数において、隣接する光周波数の差は短波長側から順に第1のセパレーションの5, 10, 8, 4, 7, 6及び3倍である請求項4記載の光伝送装置。

【請求項6】 前記第2のセパレーションは第1のセパレーションの3倍であり、  
前記8つの光周波数において、隣接する光周波数の差は短波長側から順に第1のセパレーションの3, 6, 7, 4, 8, 10及び5倍である請求項4記載の光伝送装置。

【請求項7】 前記第2のセパレーションは第1のセパレーションの3倍であり、  
前記8つの光周波数において、隣接する光周波数の差は短波長側から順に第1のセパレーションの3, 8, 7, 6, 10, 4及び5倍である請求項4記載の光伝送装置。

【請求項8】 前記第2のセパレーションは第1のセパレーションの3倍であり、  
前記8つの光周波数において、隣接する光周波数の差は短波長側から順に第1のセパレーションの5, 4, 10, 6, 7, 8及び3倍である請求項4記載の光伝送装置。

【請求項9】 前記第1のセパレーションはほぼ50GHzである請求項1～8のいずれか1項記載の光伝送装置。

【請求項10】 波長の異なる複数の光信号を多重化した波長分割多重信号を送信し受信する光伝送システムであって、  
該複数の光信号の少なくとも3つの光周波数は、3つ以

上の光周波数の組合わせであってすべての2つの光周波数の差が互いに第1のセパレーション以上異なっているものに実質的に等しい光伝送システム。

【請求項11】 前記光周波数の組合わせにおける光周波数の各々は前記第1のセパレーションを間隔とする等間隔のスロットのいずれかに配置される請求項10記載の光伝送システム。

【請求項12】 前記光周波数の組合わせは、8つの光周波数であって隣接する光周波数の差が第2のセパレーション以上であり、かつ、所要帯域幅が最小となるように決定されたものの少なくとも一部である請求項11記載の光伝送システム。

【請求項13】 前記第2のセパレーションは前記第1のセパレーションの2乃至4倍である請求項12記載の光伝送システム。

【請求項14】 前記第2のセパレーションは第1のセパレーションの3倍であり、  
前記8つの光周波数において、隣接する光周波数の差は短波長側から順に第1のセパレーションの5, 10, 8, 4, 7, 6及び3倍である請求項13記載の光伝送システム。

【請求項15】 前記第2のセパレーションは第1のセパレーションの3倍であり、  
前記8つの光周波数において、隣接する光周波数の差は短波長側から順に第1のセパレーションの3, 6, 7, 4, 8, 10及び5倍である請求項13記載の光伝送システム。

【請求項16】 前記第2のセパレーションは第1のセパレーションの3倍であり、  
前記8つの光周波数において、隣接する光周波数の差は短波長側から順に第1のセパレーションの3, 8, 7, 6, 10, 4及び5倍である請求項13記載の光伝送システム。

【請求項17】 前記第2のセパレーションは第1のセパレーションの3倍であり、  
前記8つの光周波数において、隣接する光周波数の差は短波長側から順に第1のセパレーションの5, 4, 10, 6, 7, 8及び3倍である請求項13記載の光伝送システム。

【請求項18】 前記第1のセパレーションはほぼ50GHzである請求項10～17のいずれか1項記載の光伝送システム。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、波長の異なる複数の光信号を多重化する光伝送装置、及び、波長の異なる複数の光信号を多重化した波長分割多重信号を送信し受信する光伝送システムに関する。

【0002】

【従来の技術】将来のマルチメディアネットワークを

構築するため、さらなる超長距離・大容量の光通信システムが要求されている。大容量化の方式として、時分割多重 (TDM) 方式、光領域での時分割多重 (OTDM) 方式、波長分割多重 (WDM) 方式等の検討が盛んに行われている。この中で WDM 伝送方式は他の方式に比べ有利と考えられる。それは、同じ伝送容量でも各光キャリアについての伝送速度を低く設定できるため、光ファイバの波長分散に対する許容値が大きいこと、光ファイバ中で生じる非線形光学効果の影響が小さいことによる。さらに、この方式はエドープ光ファイバ増幅器の広い利得帯域 (所望の利得が得られる帯域) を活用し、光レベルでのクロスコネク、分岐・挿入、異種サービスの多重化を行う柔軟な光波ネットワークの実現手段としても期待されている。

【0003】しかし、各光キャリアにおける伝送速度が数 Gb/s を越える光伝送では、ファイバの波長分散による波形劣化が無視できなくなる。また、長距離システムでは所要 SNR を確保するためにファイバ伝送路への入力パワーを大きくする必要があり、この場合、光ファイバ内での非線形光学効果である自己位相変調効果 (SPM) が顕著になる。SPM による信号光の波長チャープはファイバの波長分散との相互作用 (SPM-GVD 効果) で波形劣化を生じさせる。これらの影響を避けるためには、伝送路として 1.55  $\mu\text{m}$  帯分散シフトファイバ (DSF) を使用し、信号光波長での分散値をできるだけ小さくする必要がある。しかし、DSF の低分散領域を利用した WDM 伝送では、光ファイバ内での非線形光学効果である信号光間の四光波混合 (FWM) の発生が顕著になり問題となる。FWM 発生による影響は、FWM 光が信号波長と共に選択されて受信されることにより生じるクロストーク、FWM 光へのエネルギーの移行で生じる信号光の減衰として現れる。これらは信号の SNR の劣化をもたらす、最悪の場合伝送が不可能になる。FWM の発生効率は、伝送路分散が小さくなるか、信号光パワーが高くなるか、波長間隔が狭くなるか、波長数が大きくなる程高くなる。他の非線形効果に比べ FWM は低いパワーレベルから発生するためその影響は大きい。実際には、DSF 伝送路の低分散領域を使用し、信号光パワーを高くする必要があり、光増幅器の利得帯域及び光部品の波長依存性による信号帯域の制限のために狭いチャンネル間隔で伝送する必要があるため FWM の影響は大きくなる。このため、WDM 方式の設計では FWM による影響を十分考慮する必要がある。

【0004】FWM を抑圧する方法としては、信号帯域を零分散波長  $\lambda_0$  から大きく離す方法等が提案されている (宮田 英之他, “ファイバの分散ばらつきを考慮した WDM 伝送の四光波混合の影響の検討”, 信学技報, SSE93-143, OCS93-73 (1994-03); N.S. Bergano et al., “100Gb/s WDM Transmission of Twenty 5Gb/s NRZ Data Channels Over Transoceanic Distances Using a G

ain Flattened Amplifier Chain”, Proc. 21st Eur. Conf. on Opt. Comm. (ECOC '95-Brussels))。この方法では信号帯域が光増幅器の利得帯域から外れる場合があること、ファイバの  $\lambda_0$  を精度良く管理する必要があること、分散が大きくなるため長距離伝送では分散補償が必要になること等の問題がある。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】したがって本発明の目的は、FWM の影響を実質的に免がれることの可能な WDM 方式を提案することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、波長の異なる複数の光信号を多重化する光伝送装置であって、該複数の光信号の少なくとも 3 つの光周波数は、3 つ以上の光周波数の組合わせであってすべての 2 つの光周波数の差が互いに第 1 のセパレーション以上異なっているものに実質的に等しい光伝送装置が提供される。

【0007】本発明によれば、波長の異なる複数の光信号を多重化した波長分割多重信号を送信し受信する光伝送システムであって、該複数の光信号の少なくとも 3 つの光周波数は、3 つ以上の光周波数の組合わせであってすべての 2 つの光周波数の差が互いに第 1 のセパレーション以上異なっているものに実質的に等しい光伝送システムもまた提供される。

【0008】

【発明の実施の形態】図 1 に本発明が適用される光伝送システムの一例を示す。図 1 に示されたシステムは光送信機 10 と複数の光中継器 12 と、光受信機 14 とこれらを接続する分散シフトファイバ (DSF) 16 とから構成されている。光送信機 10 は出力光の光周波数がそれぞれ  $f_1, f_2 \dots f_n$  である  $n$  個のレーザダイオード 18 と、それぞれの出力光を  $n$  チャンネルの送信データ DATA 1, DATA 2  $\dots$  DATA  $n$  でそれぞれ変調する  $n$  個の光変調器 20 と、光変調器 20 の出力光を合波する波長分割多重化器 (WDM) 22 と、WDM 22 の出力を増幅して DSF 16 へ送出する光ポストアップ 24 とを含んでいる。光中継器 12 は光増幅器 26 を含んでいる。光受信機 14 は、DSF 16 からの光信号を増幅する光プリアンプ 28 と、光プリアンプ 28 の出力光のパワーを  $n$  個に分割する光カブラ 30 と、光カブラ 30 の  $n$  個の出力をそれぞれ増幅する  $n$  個の光増幅器 32 と、中心光周波数がそれぞれ  $f_1, f_2 \dots f_n$  である  $n$  個の光フィルタ 34 と、光フィルタ 34 の出力を電気信号にそれぞれ変換する  $n$  個の光検出器 36 とを含んでいる。

【0009】FWM 現象は 3 波の信号を多重してファイバに入力した時、ファイバの 3 次の非線形感受率  $\chi^{(3)}$  を介して新たな第 4 の光が発生するというものである。 $f_1, f_2$  及び  $f_3$  の光周波数の信号を入力した場合、FWM 光は次式 (1) の関係を満たす  $f_{ijk}$  の光周波数

で発生する。

$$f_{ijk} = f_i + f_j - f_k \quad (i, j, k=1 \sim 3, i \neq k, j \neq k) \dots (1)$$

図1のシステムのようにチャンネル数が多い  $f_1 \sim f_n$  の場合には、この中の任意の3波の  $i, j, k$  の組み合わせで FWM 光が発生する。チャンネルが等間隔配置の場合には  $i, j, k$  の組み合わせで同じ光周波数位置にいくつもの FWM 光が発生し重畳されるためクロストークの影響は最悪になる。図2に3波で等間隔配置の場合の FWM 光発生の様子を示す。この場合、9つの FWM 光が発生しその中の3つが信号光と一致しクロストークとなる。

【0010】本発明では、以下に詳細に説明するように、チャンネル配置を不等間隔化することで FWM 光が各チャンネルに重畳しないようにし、FWM によるクロストークの影響を回避する。また、光増幅器 24, 26, 28 の利得帯域、光部品 (22, 30 等) の波長依存性等により信号帯域が制限されるため、不等間隔化した場合に生じる信号帯域の増加が最小となるように配置が最適化される。

【0011】(1)式を変形すると次の(2)式が得られる。

$$f_{ijk} - f_i = f_j - f_k \dots (2)$$

(2)式より、FWM 光と信号光との間で  $\Delta f_{s-F}$  のセパレーションを確保するためには、任意の信号光の対における光周波数差と他の任意の信号光の対における光周波数差との間で  $\Delta f_{s-F}$  の光周波数差が確保されていれば良いことがわかる。

【0012】計算を実現可能なものとするため、及び、後述する利益のために、図3に示すようにすべての信号光  $f_1 \sim f_n$  は  $\Delta f_{s-F}$  の間隔で設定されたスロットのいずれかに配置されるものとする。この場合に、(1)\*

\*式より、FWM 光もまた必ずいずれかのスロットに存在する。したがって、図3に示すように、光周波数  $f_i$  と  $f_{i+1}$  ( $i=1 \sim n-1$ ) の間隔をスロット間隔  $\Delta f_{s-F}$  の  $m_i$  倍とすると、 $m_1, m_2 \dots m_{n-1}$  及び連続する  $i-2$  個までの  $m_i$  の合計  $m_1 + m_2, m_2 + m_3, \dots, m_2 + m_3 + \dots + m_{i-1}$  がすべて相異なるように  $m_1, \dots, m_{n-1}$  を決めれば、FWM 光と信号光との間で  $\Delta f_{s-F}$  のセパレーションが確保される。また、すべての  $m_i$  の合計  $m_1 + m_2 + \dots + m_{n-1}$  を最小にすれば所要帯域幅は最小になる。

【0013】チャンネル数  $n$  及びチャンネルセパレーションの最小値  $\Delta f_{min}$  (図3では  $m_1$  の間隔) または最小スロット数  $n_{smin}$  ( $= \Delta f_{min} / \Delta f_{s-F}$ ; 図3では  $m_1$ ) を与えてやれば、上記の条件を満足するチャンネル配置  $m_1, m_2 \dots m_{n-1}$  を周知の線形計画法により決定することができる。線形計画法とは、いくつかの変数による一次の不等式・等式の組み合わせによって表される制約条件のもとで、与えられた一次式を最小(最大)にする変数の値を求める方法である。なお、 $\Delta f_{s-F}$  及び  $\Delta f_{min}$  ( $n_{smin}$ ) は後述するように実際の光合成分波器の透過特性、信号のスペクトル広がり・波長設定精度等のシステムパラメータにより決定される。

【0014】チャンネル(波長)数  $n$  を 8、チャンネルセパレーションの最小値  $n_{smin}$  を 1 から 6 までとした場合に決定される最適解の数と所要帯域幅の計算結果を表1に示す。

【0015】

【表1】

表-1 8波、 $n_{smin} = 1 \sim 6$  の配置

$n_{smin}$	配置の例 ( $m_1 \sim m_7$ )	配置 の数	$m_1 + m_2 + \dots + m_7$ (スロット)	不等間隔/等間隔 所要帯域幅比較
1	1, 3, 5, 6, 7, 10, 2	2	34	~ 4.9倍
2	2, 4, 10, 3, 8, 7, 5	24	39	~ 2.8
3	3, 6, 7, 4, 8, 10, 5	10	43	~ 2.0
4	4, 7, 5, 8, 10, 9, 6	76	49	~ 1.8
5	5, 7, 6, 9, 8, 11, 10	206	56	1.6
6	6, 7, 8, 9, 10, 12, 11	506	63	1.5

【0016】また、各  $n_{smin}$  における配置  $N \{m_1, m_2 \dots m_{n-1}\}$  ( $N$  は追番) を以下に示す。

8-wave,  $n_{smin} = 1$

1 {1, 3, 5, 6, 7, 10, 2}

2 {2, 10, 7, 6, 5, 3, 1}

8-wave,  $n_{smin} = 2$

1 {3, 2, 8, 4, 7, 9, 6}

2 {6, 9, 7, 4, 8, 2, 3}

3 {2, 4, 10, 3, 8, 7, 5}

4 {5, 7, 8, 3, 10, 4, 2}

5 {3, 6, 11, 5, 2, 8, 4}

6 {4, 8, 2, 5, 11, 6, 3}

7 {2, 6, 5, 4, 12, 7, 3}

8 {2, 6, 12, 3, 7, 4, 5}

9 {2, 6, 12, 5, 4, 7, 3}

50 10 {2, 7, 4, 6, 12, 3, 5}

7

11 {2, 7, 12, 4, 6, 5, 3}  
 12 {3, 5, 6, 4, 12, 7, 2}  
 13 {3, 7, 4, 5, 12, 6, 2}  
 14 {3, 7, 6, 2, 12, 5, 4}  
 15 {3, 7, 12, 2, 6, 5, 4}  
 16 {3, 7, 12, 4, 5, 6, 2}  
 17 {4, 5, 6, 2, 12, 7, 3}  
 18 {4, 5, 12, 2, 6, 7, 3}  
 19 {5, 3, 12, 6, 4, 7, 2}  
 20 {5, 4, 7, 3, 12, 6, 2}  
 21 {2, 6, 5, 10, 4, 3, 9}  
 22 {2, 6, 5, 10, 9, 3, 4}  
 23 {4, 3, 9, 10, 5, 6, 2}  
 24 {9, 3, 4, 10, 5, 6, 2}

8-wave, n<sub>sin</sub> = 3

1 {3, 6, 7, 4, 8, 10, 5}  
 2 {3, 6, 8, 10, 5, 7, 4}  
 3 {3, 8, 7, 6, 10, 4, 5}  
 4 {4, 7, 5, 10, 3, 6, 8}  
 5 {4, 7, 5, 10, 8, 6, 3}  
 6 {4, 10, 5, 7, 6, 3, 8}  
 7 {5, 4, 10, 6, 7, 8, 3}  
 8 {5, 10, 8, 4, 7, 6, 3}  
 9 {8, 3, 6, 7, 5, 10, 4}  
 10 {8, 6, 3, 10, 5, 7, 4}

8-wave, n<sub>sin</sub> = 4

1 {4, 7, 5, 8, 10, 9, 6}  
 2 {4, 7, 5, 10, 9, 8, 6}  
 3 {4, 7, 10, 6, 9, 5, 8}  
 4 {4, 7, 10, 8, 5, 9, 6}  
 5 {4, 8, 6, 5, 10, 7, 9}  
 6 {4, 8, 6, 7, 9, 10, 5}  
 7 {4, 8, 7, 10, 6, 5, 9}  
 8 {4, 8, 10, 7, 9, 5, 6}  
 9 {4, 9, 5, 6, 10, 7, 8}  
 10 {4, 9, 6, 8, 10, 7, 5}  
 11 {4, 9, 7, 5, 10, 8, 6}  
 12 {4, 9, 7, 10, 5, 6, 8}  
 13 {4, 9, 7, 10, 8, 6, 5}  
 14 {4, 9, 10, 6, 5, 7, 8}  
 15 {4, 9, 10, 6, 8, 7, 5}  
 16 {4, 10, 5, 6, 7, 9, 8}  
 17 {4, 10, 7, 9, 6, 5, 8}  
 18 {4, 10, 9, 8, 7, 5, 6}  
 19 {4, 10, 9, 8, 7, 6, 5}  
 20 {5, 6, 7, 8, 9, 10, 4}  
 21 {5, 6, 8, 4, 9, 7, 10}  
 22 {5, 6, 8, 10, 7, 9, 4}  
 23 {5, 6, 9, 4, 8, 10, 7}  
 24 {5, 7, 4, 9, 6, 8, 10}

8

25 {5, 7, 4, 9, 10, 8, 6}  
 26 {5, 7, 4, 10, 8, 9, 6}  
 27 {5, 7, 8, 6, 10, 9, 4}  
 28 {5, 7, 10, 8, 6, 9, 4}  
 29 {5, 8, 9, 6, 10, 4, 7}  
 30 {5, 9, 4, 8, 7, 10, 6}  
 31 {5, 9, 6, 10, 7, 4, 8}  
 32 {5, 9, 6, 10, 8, 4, 7}  
 33 {5, 10, 7, 9, 4, 8, 6}  
 10 34 {5, 10, 9, 7, 6, 8, 4}  
 35 {6, 5, 7, 8, 9, 4, 10}  
 36 {6, 5, 7, 8, 9, 10, 4}  
 37 {6, 5, 9, 4, 8, 7, 10}  
 38 {6, 5, 9, 7, 10, 8, 4}  
 39 {6, 7, 4, 8, 10, 5, 9}  
 40 {6, 8, 4, 9, 7, 10, 5}  
 41 {6, 8, 9, 4, 7, 5, 10}  
 42 {6, 8, 9, 10, 5, 7, 4}  
 43 {6, 8, 10, 5, 7, 4, 9}  
 20 44 {6, 8, 10, 5, 7, 9, 4}  
 45 {6, 8, 10, 9, 4, 7, 5}  
 46 {6, 9, 5, 8, 10, 7, 4}  
 47 {6, 9, 8, 5, 7, 4, 10}  
 48 {6, 9, 8, 10, 4, 7, 5}  
 49 {6, 9, 10, 4, 7, 5, 8}  
 50 {6, 9, 10, 8, 5, 7, 4}  
 51 {6, 10, 7, 8, 4, 9, 5}  
 52 {7, 4, 8, 5, 9, 6, 10}  
 53 {7, 4, 8, 10, 6, 9, 5}  
 30 54 {7, 4, 10, 6, 9, 8, 5}  
 55 {7, 10, 8, 4, 9, 6, 5}  
 56 {8, 4, 7, 6, 10, 5, 9}  
 57 {8, 4, 7, 10, 6, 9, 5}  
 58 {8, 5, 6, 9, 7, 10, 4}  
 59 {8, 5, 7, 4, 10, 9, 6}  
 60 {8, 5, 9, 6, 10, 7, 4}  
 61 {8, 6, 5, 10, 7, 9, 4}  
 62 {8, 7, 5, 6, 10, 9, 4}  
 63 {8, 7, 10, 6, 5, 9, 4}  
 40 64 {8, 9, 7, 6, 5, 10, 4}  
 65 {9, 4, 7, 5, 10, 8, 6}  
 66 {9, 5, 6, 10, 7, 8, 4}  
 67 {9, 5, 10, 6, 7, 4, 8}  
 68 {9, 5, 10, 8, 4, 7, 6}  
 69 {9, 7, 10, 5, 6, 8, 4}  
 70 {10, 4, 7, 5, 8, 9, 6}  
 71 {10, 4, 9, 8, 7, 5, 6}  
 72 {10, 5, 7, 4, 9, 8, 6}  
 73 {10, 6, 9, 5, 8, 4, 7}  
 50 74 {10, 7, 8, 4, 9, 5, 6}

9

75 {10, 7, 9, 4, 8, 6, 5}  
 76 {10, 8, 6, 9, 4, 7, 5}  
 8-wave, n<sub>sin</sub> = 5  
 1 {5, 7, 6, 9, 8, 11, 10}  
 2 {5, 7, 9, 6, 11, 8, 10}  
 3 {5, 7, 9, 10, 8, 6, 11}  
 4 {5, 7, 9, 11, 6, 8, 10}  
 5 {5, 7, 10, 8, 6, 9, 11}  
 6 {5, 7, 10, 8, 11, 9, 6}  
 7 {5, 7, 10, 11, 8, 6, 9}  
 8 {5, 7, 10, 11, 9, 6, 8}  
 9 {5, 7, 11, 9, 10, 6, 8}  
 10 {5, 8, 6, 10, 7, 11, 9}  
 11 {5, 8, 7, 9, 10, 11, 6}  
 12 {5, 8, 7, 11, 6, 10, 9}  
 13 {5, 8, 10, 11, 6, 9, 7}  
 14 {5, 8, 11, 7, 10, 6, 9}  
 15 {5, 8, 11, 9, 6, 10, 7}  
 16 {5, 8, 11, 10, 7, 9, 6}  
 17 {5, 9, 6, 7, 10, 8, 11}  
 18 {5, 9, 6, 7, 10, 11, 8}  
 19 {5, 9, 6, 10, 7, 11, 8}  
 20 {5, 9, 7, 6, 11, 8, 10}  
 21 {5, 9, 8, 7, 11, 10, 6}  
 22 {5, 9, 8, 11, 7, 6, 10}  
 23 {5, 9, 8, 11, 10, 6, 7}  
 24 {5, 9, 11, 8, 7, 6, 10}  
 25 {5, 9, 11, 8, 10, 6, 7}  
 26 {5, 10, 6, 8, 9, 11, 7}  
 27 {5, 10, 7, 9, 11, 8, 6}  
 28 {5, 10, 8, 6, 7, 9, 11}  
 29 {5, 10, 8, 6, 11, 9, 7}  
 30 {5, 10, 8, 11, 6, 7, 9}  
 31 {5, 10, 8, 11, 9, 7, 6}  
 32 {5, 10, 11, 7, 9, 8, 6}  
 33 {5, 10, 11, 8, 9, 7, 6}  
 34 {5, 11, 6, 7, 8, 10, 9}  
 35 {5, 11, 8, 10, 7, 6, 9}  
 36 {5, 11, 9, 10, 7, 6, 8}  
 37 {5, 11, 9, 10, 8, 6, 7}  
 38 {5, 11, 10, 8, 9, 6, 7}  
 39 {6, 7, 5, 11, 10, 9, 8}  
 40 {6, 7, 9, 5, 10, 8, 11}  
 41 {6, 7, 9, 8, 11, 10, 5}  
 42 {6, 7, 9, 11, 8, 10, 5}  
 43 {6, 8, 5, 10, 7, 9, 11}  
 44 {6, 8, 5, 10, 7, 11, 9}  
 45 {6, 8, 5, 10, 11, 7, 9}  
 46 {6, 8, 5, 10, 11, 9, 7}  
 47 {6, 8, 9, 7, 11, 10, 5}

10

48 {6, 8, 9, 11, 10, 5, 7}  
 49 {6, 8, 10, 5, 7, 9, 11}  
 50 {6, 8, 10, 9, 11, 5, 7}  
 51 {6, 8, 11, 9, 7, 5, 10}  
 52 {6, 8, 11, 9, 7, 10, 5}  
 53 {6, 9, 5, 7, 10, 8, 11}  
 54 {6, 9, 7, 10, 11, 8, 5}  
 55 {6, 9, 10, 7, 11, 5, 8}  
 56 {6, 9, 10, 11, 7, 5, 8}  
 10 57 {6, 9, 11, 8, 10, 7, 5}  
 58 {6, 10, 5, 8, 9, 11, 7}  
 59 {6, 10, 5, 9, 8, 11, 7}  
 60 {6, 10, 7, 11, 8, 5, 9}  
 61 {6, 10, 7, 11, 9, 5, 8}  
 62 {6, 10, 8, 11, 9, 5, 7}  
 63 {6, 10, 9, 5, 8, 7, 11}  
 64 {6, 10, 9, 8, 5, 7, 11}  
 65 {6, 10, 11, 7, 5, 8, 9}  
 66 {6, 10, 11, 7, 8, 5, 9}  
 20 67 {6, 10, 11, 7, 8, 9, 5}  
 68 {6, 11, 5, 7, 8, 10, 9}  
 69 {6, 11, 8, 10, 5, 7, 9}  
 70 {6, 11, 8, 10, 5, 9, 7}  
 71 {6, 11, 9, 7, 5, 10, 8}  
 72 {6, 11, 10, 9, 5, 8, 7}  
 73 {6, 11, 10, 9, 7, 8, 5}  
 74 {7, 5, 8, 9, 6, 10, 11}  
 75 {7, 5, 8, 10, 9, 6, 11}  
 76 {7, 5, 8, 10, 11, 6, 9}  
 30 77 {7, 5, 8, 11, 10, 6, 9}  
 78 {7, 5, 9, 6, 10, 8, 11}  
 79 {7, 5, 9, 6, 11, 8, 10}  
 80 {7, 5, 9, 11, 6, 10, 8}  
 81 {7, 5, 9, 11, 8, 10, 6}  
 82 {7, 5, 10, 8, 6, 11, 9}  
 83 {7, 5, 10, 9, 11, 6, 8}  
 84 {7, 5, 10, 11, 9, 8, 6}  
 85 {7, 5, 11, 6, 8, 10, 9}  
 86 {7, 5, 11, 6, 9, 10, 8}  
 40 87 {7, 5, 11, 9, 10, 8, 6}  
 88 {7, 6, 8, 9, 10, 5, 11}  
 89 {7, 6, 8, 9, 11, 5, 10}  
 90 {7, 6, 8, 10, 5, 11, 9}  
 91 {7, 6, 8, 10, 9, 11, 5}  
 92 {7, 6, 9, 5, 11, 8, 10}  
 93 {7, 6, 9, 5, 11, 10, 8}  
 94 {7, 6, 9, 8, 10, 11, 5}  
 95 {7, 6, 10, 8, 11, 9, 5}  
 96 {7, 6, 10, 11, 8, 9, 5}  
 50 97 {7, 8, 5, 9, 10, 6, 11}

## 11

98 {7, 8, 5, 9, 10, 11, 6}  
 99 {7, 9, 5, 10, 8, 11, 6}  
 100 {7, 9, 6, 11, 10, 8, 5}  
 101 {7, 9, 11, 6, 8, 5, 10}  
 102 {7, 9, 11, 6, 8, 10, 5}  
 103 {7, 9, 11, 10, 5, 8, 6}  
 104 {7, 10, 6, 9, 5, 8, 11}  
 105 {7, 10, 6, 9, 11, 8, 5}  
 106 {7, 11, 8, 5, 9, 6, 10}  
 107 {7, 11, 8, 9, 5, 10, 6}  
 108 {7, 11, 9, 8, 5, 10, 6}  
 109 {7, 11, 9, 8, 6, 10, 5}  
 110 {8, 5, 7, 11, 6, 9, 10}  
 111 {8, 5, 7, 11, 6, 10, 9}  
 112 {8, 5, 7, 11, 10, 6, 9}  
 113 {8, 5, 7, 11, 10, 9, 6}  
 114 {8, 5, 9, 11, 7, 10, 6}  
 115 {8, 5, 11, 7, 10, 9, 6}  
 116 {8, 6, 7, 5, 10, 9, 11}  
 117 {8, 6, 7, 5, 11, 9, 10}  
 118 {8, 6, 7, 10, 5, 11, 9}  
 119 {8, 6, 7, 10, 9, 11, 5}  
 120 {8, 6, 9, 11, 10, 7, 5}  
 121 {8, 6, 10, 5, 7, 11, 9}  
 122 {8, 6, 10, 9, 11, 7, 5}  
 123 {8, 6, 11, 9, 7, 5, 10}  
 124 {8, 6, 11, 9, 10, 5, 7}  
 125 {8, 7, 5, 9, 10, 6, 11}  
 126 {8, 9, 10, 11, 5, 7, 6}  
 127 {8, 10, 5, 7, 9, 11, 6}  
 128 {8, 10, 6, 11, 9, 5, 7}  
 129 {8, 10, 9, 6, 11, 5, 7}  
 130 {8, 10, 11, 5, 9, 6, 7}  
 131 {8, 11, 5, 9, 6, 7, 10}  
 132 {8, 11, 7, 5, 9, 6, 10}  
 133 {8, 11, 7, 10, 6, 9, 5}  
 134 {8, 11, 10, 7, 6, 9, 5}  
 135 {9, 5, 7, 8, 10, 6, 11}  
 136 {9, 5, 7, 8, 11, 6, 10}  
 137 {9, 5, 8, 7, 11, 6, 10}  
 138 {9, 5, 8, 7, 11, 10, 6}  
 139 {9, 5, 8, 11, 7, 10, 6}  
 140 {9, 6, 7, 10, 8, 11, 5}  
 141 {9, 6, 8, 11, 10, 7, 5}  
 142 {9, 6, 10, 7, 5, 8, 11}  
 143 {9, 6, 10, 7, 11, 8, 5}  
 144 {9, 6, 10, 11, 7, 5, 8}  
 145 {9, 6, 10, 11, 8, 5, 7}  
 146 {9, 6, 11, 10, 8, 5, 7}  
 147 {9, 7, 5, 10, 8, 6, 11}

## 12

148 {9, 7, 5, 10, 8, 11, 6}  
 149 {9, 7, 6, 11, 8, 10, 5}  
 150 {9, 7, 11, 6, 8, 5, 10}  
 151 {9, 7, 11, 10, 5, 8, 6}  
 152 {9, 8, 5, 7, 11, 10, 6}  
 153 {9, 10, 6, 11, 7, 5, 8}  
 154 {9, 10, 6, 11, 7, 8, 5}  
 155 {9, 10, 8, 6, 11, 5, 7}  
 156 {9, 10, 8, 7, 5, 11, 6}  
 10 157 {9, 10, 8, 7, 6, 11, 5}  
 158 {9, 11, 5, 10, 7, 6, 8}  
 159 {9, 11, 5, 10, 8, 6, 7}  
 160 {9, 11, 6, 8, 10, 5, 7}  
 161 {9, 11, 7, 5, 10, 6, 8}  
 162 {9, 11, 7, 10, 5, 8, 6}  
 163 {9, 11, 7, 10, 6, 8, 5}  
 164 {10, 5, 7, 9, 11, 6, 8}  
 165 {10, 5, 7, 9, 11, 8, 6}  
 166 {10, 5, 8, 6, 11, 7, 9}  
 20 167 {10, 5, 8, 6, 11, 9, 7}  
 168 {10, 5, 11, 9, 8, 6, 7}  
 169 {10, 6, 7, 8, 11, 9, 5}  
 170 {10, 6, 7, 11, 8, 9, 5}  
 171 {10, 6, 9, 5, 7, 11, 8}  
 172 {10, 6, 9, 5, 8, 11, 7}  
 173 {10, 6, 11, 7, 8, 5, 9}  
 174 {10, 6, 11, 8, 7, 5, 9}  
 175 {10, 7, 6, 9, 5, 11, 8}  
 176 {10, 8, 5, 7, 9, 6, 11}  
 30 177 {10, 8, 6, 11, 9, 7, 5}  
 178 {10, 8, 11, 5, 9, 6, 7}  
 179 {10, 8, 11, 6, 7, 9, 5}  
 180 {10, 8, 11, 6, 9, 5, 7}  
 181 {10, 8, 11, 6, 9, 7, 5}  
 182 {10, 9, 6, 11, 7, 5, 8}  
 183 {10, 9, 11, 5, 7, 6, 8}  
 184 {10, 11, 8, 9, 6, 7, 5}  
 185 {11, 5, 10, 9, 8, 6, 7}  
 186 {11, 6, 8, 10, 5, 7, 9}  
 40 187 {11, 6, 8, 10, 9, 7, 5}  
 188 {11, 6, 9, 7, 5, 8, 10}  
 189 {11, 6, 9, 10, 8, 5, 7}  
 190 {11, 6, 10, 8, 7, 5, 9}  
 191 {11, 6, 10, 9, 5, 7, 8}  
 192 {11, 6, 10, 9, 5, 8, 7}  
 193 {11, 7, 5, 8, 9, 10, 6}  
 194 {11, 7, 8, 5, 9, 10, 6}  
 195 {11, 8, 5, 7, 10, 6, 9}  
 196 {11, 8, 5, 9, 6, 10, 7}  
 50 197 {11, 8, 10, 5, 9, 7, 6}

13

198 {11, 8, 10, 6, 9, 5, 7}  
 199 {11, 8, 10, 7, 5, 9, 6}  
 200 {11, 8, 10, 7, 6, 9, 5}  
 201 {11, 9, 6, 8, 10, 7, 5}  
 202 {11, 9, 7, 5, 10, 8, 6}  
 203 {11, 9, 7, 6, 8, 10, 5}  
 204 {11, 9, 7, 10, 5, 8, 6}  
 205 {11, 9, 10, 5, 7, 6, 8}  
 206 {11, 10, 6, 9, 8, 5, 7}  
 8-wave, ns<sub>min</sub> = 6  
 1 {6, 7, 8, 9, 10, 12, 11}  
 2 {6, 7, 8, 9, 11, 12, 10}  
 3 {6, 7, 8, 10, 9, 11, 12}  
 4 {6, 7, 8, 10, 12, 11, 9}  
 5 {6, 7, 9, 8, 10, 11, 12}  
 6 {6, 7, 9, 8, 12, 11, 10}  
 7 {6, 7, 9, 10, 8, 12, 11}  
 8 {6, 7, 9, 10, 11, 12, 8}  
 9 {6, 7, 9, 12, 11, 8, 10}  
 10 {6, 7, 10, 8, 11, 9, 12}  
 11 {6, 7, 10, 12, 9, 11, 8}  
 12 {6, 7, 11, 8, 9, 12, 10}  
 13 {6, 7, 11, 10, 9, 8, 12}  
 14 {6, 7, 11, 10, 12, 8, 9}  
 15 {6, 7, 11, 12, 8, 9, 10}  
 16 {6, 7, 11, 12, 10, 9, 8}  
 17 {6, 7, 12, 10, 8, 9, 11}  
 18 {6, 7, 12, 10, 11, 9, 8}  
 19 {6, 7, 12, 11, 9, 8, 10}  
 20 {6, 7, 12, 11, 10, 8, 9}  
 21 {6, 8, 7, 9, 10, 12, 11}  
 22 {6, 8, 7, 9, 11, 12, 10}  
 23 {6, 8, 7, 10, 9, 11, 12}  
 24 {6, 8, 7, 10, 12, 11, 9}  
 25 {6, 8, 7, 11, 9, 10, 12}  
 26 {6, 8, 7, 11, 12, 10, 9}  
 27 {6, 8, 9, 7, 11, 10, 12}  
 28 {6, 8, 9, 7, 12, 10, 11}  
 29 {6, 8, 9, 11, 7, 12, 10}  
 30 {6, 8, 9, 11, 10, 12, 7}  
 31 {6, 8, 10, 7, 9, 11, 12}  
 32 {6, 8, 10, 7, 9, 12, 11}  
 33 {6, 8, 10, 7, 12, 9, 11}  
 34 {6, 8, 10, 7, 12, 11, 9}  
 35 {6, 8, 10, 11, 9, 7, 12}  
 36 {6, 8, 10, 11, 12, 7, 9}  
 37 {6, 8, 10, 12, 7, 9, 11}  
 38 {6, 8, 10, 12, 11, 9, 7}  
 39 {6, 8, 11, 7, 9, 12, 10}  
 40 {6, 8, 11, 7, 10, 12, 9}

14

41 {6, 8, 11, 9, 7, 10, 12}  
 42 {6, 8, 11, 9, 12, 10, 7}  
 43 {6, 8, 11, 12, 9, 7, 10}  
 44 {6, 8, 11, 12, 10, 7, 9}  
 45 {6, 8, 12, 10, 11, 7, 9}  
 46 {6, 9, 7, 10, 8, 11, 12}  
 47 {6, 9, 7, 10, 8, 12, 11}  
 48 {6, 9, 7, 10, 11, 8, 12}  
 49 {6, 9, 7, 10, 11, 12, 8}  
 10 50 {6, 9, 7, 12, 8, 10, 11}  
 51 {6, 9, 7, 12, 11, 10, 8}  
 52 {6, 9, 8, 12, 7, 11, 10}  
 53 {6, 9, 8, 12, 10, 11, 7}  
 54 {6, 9, 10, 7, 11, 12, 8}  
 55 {6, 9, 11, 12, 7, 10, 8}  
 56 {6, 9, 12, 8, 11, 7, 10}  
 57 {6, 9, 12, 10, 7, 11, 8}  
 58 {6, 9, 12, 11, 8, 10, 7}  
 59 {6, 10, 7, 8, 11, 9, 12}  
 20 60 {6, 10, 7, 11, 8, 12, 9}  
 61 {6, 10, 8, 7, 12, 9, 11}  
 62 {6, 10, 8, 7, 12, 11, 9}  
 63 {6, 10, 8, 9, 11, 12, 7}  
 64 {6, 10, 9, 8, 7, 11, 12}  
 65 {6, 10, 9, 8, 12, 11, 7}  
 66 {6, 10, 9, 12, 8, 7, 11}  
 67 {6, 10, 9, 12, 11, 7, 8}  
 68 {6, 10, 12, 9, 8, 7, 11}  
 69 {6, 10, 12, 9, 11, 7, 8}  
 30 70 {6, 10, 12, 11, 7, 8, 9}  
 71 {6, 11, 7, 8, 12, 9, 10}  
 72 {6, 11, 7, 8, 12, 10, 9}  
 73 {6, 11, 7, 9, 10, 12, 8}  
 74 {6, 11, 8, 7, 9, 12, 10}  
 75 {6, 11, 8, 10, 12, 9, 7}  
 76 {6, 11, 9, 7, 8, 10, 12}  
 77 {6, 11, 9, 7, 12, 10, 8}  
 78 {6, 11, 9, 12, 7, 8, 10}  
 79 {6, 11, 9, 12, 10, 8, 7}  
 40 80 {6, 11, 12, 8, 7, 9, 10}  
 81 {6, 11, 12, 8, 10, 9, 7}  
 82 {6, 11, 12, 9, 7, 8, 10}  
 83 {6, 11, 12, 9, 10, 8, 7}  
 84 {6, 11, 12, 10, 8, 7, 9}  
 85 {6, 11, 12, 10, 9, 7, 8}  
 86 {6, 12, 7, 8, 9, 11, 10}  
 87 {6, 12, 9, 11, 8, 7, 10}  
 88 {6, 12, 10, 11, 8, 7, 9}  
 89 {6, 12, 10, 11, 9, 7, 8}  
 50 90 {6, 12, 11, 9, 10, 7, 8}



15

91 {6, 12, 11, 10, 9, 7, 8}  
 92 {6, 12, 11, 10, 9, 8, 7}  
 93 {7, 6, 8, 10, 9, 11, 12}  
 94 {7, 6, 8, 10, 12, 11, 9}  
 95 {7, 6, 9, 10, 8, 12, 11}  
 96 {7, 6, 9, 10, 11, 12, 8}  
 97 {7, 6, 9, 12, 11, 8, 10}  
 98 {7, 6, 10, 8, 11, 9, 12}  
 99 {7, 6, 11, 8, 10, 12, 9}  
 100 {7, 6, 11, 9, 12, 10, 8}  
 101 {7, 6, 11, 12, 8, 10, 9}  
 102 {7, 6, 11, 12, 9, 10, 8}  
 103 {7, 6, 12, 8, 9, 10, 11}  
 104 {7, 6, 12, 11, 10, 9, 8}  
 105 {7, 8, 6, 10, 9, 11, 12}  
 106 {7, 8, 6, 10, 12, 11, 9}  
 107 {7, 8, 6, 11, 9, 10, 12}  
 108 {7, 8, 6, 11, 12, 10, 9}  
 109 {7, 8, 6, 12, 10, 9, 11}  
 110 {7, 8, 6, 12, 11, 9, 10}  
 111 {7, 8, 9, 10, 6, 12, 11}  
 112 {7, 8, 9, 10, 11, 12, 6}  
 113 {7, 8, 10, 6, 11, 9, 12}  
 114 {7, 8, 10, 6, 11, 12, 9}  
 115 {7, 8, 10, 9, 12, 11, 6}  
 116 {7, 8, 10, 12, 9, 11, 6}  
 117 {7, 8, 11, 6, 10, 12, 9}  
 118 {7, 9, 6, 11, 10, 8, 12}  
 119 {7, 9, 6, 11, 12, 8, 10}  
 120 {7, 9, 6, 12, 8, 11, 10}  
 121 {7, 9, 8, 6, 12, 10, 11}  
 122 {7, 9, 10, 8, 6, 11, 12}  
 123 {7, 9, 10, 8, 12, 11, 6}  
 124 {7, 9, 10, 12, 11, 6, 8}  
 125 {7, 9, 11, 6, 8, 10, 12}  
 126 {7, 9, 11, 10, 12, 6, 8}  
 127 {7, 9, 11, 12, 10, 8, 6}  
 128 {7, 9, 12, 10, 8, 6, 11}  
 129 {7, 9, 12, 10, 8, 11, 6}  
 130 {7, 9, 12, 11, 6, 8, 10}  
 131 {7, 10, 6, 8, 11, 9, 12}  
 132 {7, 10, 6, 9, 12, 8, 11}  
 133 {7, 10, 8, 11, 12, 9, 6}  
 134 {7, 10, 11, 8, 12, 6, 9}  
 135 {7, 10, 12, 9, 6, 8, 11}  
 136 {7, 10, 12, 9, 11, 8, 6}  
 137 {7, 11, 6, 8, 12, 9, 10}  
 138 {7, 11, 6, 8, 12, 10, 9}  
 139 {7, 11, 6, 9, 10, 12, 8}  
 140 {7, 11, 6, 10, 9, 12, 8}

16

141 {7, 11, 8, 6, 9, 12, 10}  
 142 {7, 11, 8, 6, 10, 12, 9}  
 143 {7, 11, 8, 12, 9, 6, 10}  
 144 {7, 11, 8, 12, 10, 6, 9}  
 145 {7, 11, 9, 12, 10, 6, 8}  
 146 {7, 11, 10, 6, 9, 8, 12}  
 147 {7, 11, 10, 9, 6, 8, 12}  
 148 {7, 11, 10, 12, 8, 6, 9}  
 149 {7, 11, 10, 12, 8, 9, 6}  
 10 150 {7, 11, 12, 8, 6, 10, 9}  
 151 {7, 11, 12, 8, 9, 10, 6}  
 152 {7, 11, 12, 9, 10, 6, 8}  
 153 {7, 12, 6, 8, 9, 11, 10}  
 154 {7, 12, 9, 11, 6, 8, 10}  
 155 {7, 12, 9, 11, 6, 10, 8}  
 156 {7, 12, 10, 8, 6, 9, 11}  
 157 {7, 12, 10, 8, 6, 11, 9}  
 158 {7, 12, 10, 11, 9, 6, 8}  
 159 {7, 12, 10, 11, 9, 8, 6}  
 20 160 {7, 12, 11, 9, 6, 10, 8}  
 161 {7, 12, 11, 9, 8, 10, 6}  
 162 {8, 6, 7, 11, 9, 10, 12}  
 163 {8, 6, 7, 11, 12, 10, 9}  
 164 {8, 6, 9, 11, 7, 10, 12}  
 165 {8, 6, 9, 11, 7, 12, 10}  
 166 {8, 6, 9, 11, 10, 7, 12}  
 167 {8, 6, 9, 11, 10, 12, 7}  
 168 {8, 6, 9, 12, 10, 7, 11}  
 169 {8, 6, 10, 7, 11, 9, 12}  
 30 170 {8, 6, 10, 7, 12, 9, 11}  
 171 {8, 6, 10, 9, 12, 11, 7}  
 172 {8, 6, 10, 12, 7, 11, 9}  
 173 {8, 6, 10, 12, 9, 11, 7}  
 174 {8, 6, 11, 7, 9, 10, 12}  
 175 {8, 6, 11, 7, 9, 12, 10}  
 176 {8, 6, 11, 9, 7, 12, 10}  
 177 {8, 6, 11, 10, 12, 7, 9}  
 178 {8, 6, 11, 12, 10, 9, 7}  
 179 {8, 6, 12, 7, 9, 11, 10}  
 40 180 {8, 6, 12, 7, 10, 11, 9}  
 181 {8, 6, 12, 10, 11, 9, 7}  
 182 {8, 7, 6, 11, 9, 10, 12}  
 183 {8, 7, 6, 11, 12, 10, 9}  
 184 {8, 7, 6, 12, 10, 9, 11}  
 185 {8, 7, 6, 12, 11, 9, 10}  
 186 {8, 7, 9, 10, 11, 6, 12}  
 187 {8, 7, 9, 10, 11, 12, 6}  
 188 {8, 7, 9, 10, 12, 6, 11}  
 189 {8, 7, 9, 10, 12, 11, 6}  
 50 190 {8, 7, 9, 11, 6, 12, 10}

17

191 {8, 7, 9, 11, 10, 12, 6}  
 192 {8, 7, 10, 6, 12, 9, 11}  
 193 {8, 7, 10, 9, 11, 12, 6}  
 194 {8, 7, 11, 6, 10, 9, 12}  
 195 {8, 7, 11, 6, 10, 12, 9}  
 196 {8, 7, 11, 9, 12, 10, 6}  
 197 {8, 7, 11, 12, 9, 10, 6}  
 198 {8, 9, 6, 10, 11, 7, 12}  
 199 {8, 9, 6, 10, 12, 7, 11}  
 200 {8, 9, 7, 6, 12, 11, 10}  
 201 {8, 9, 10, 11, 12, 6, 7}  
 202 {8, 9, 10, 12, 11, 7, 6}  
 203 {8, 9, 11, 10, 6, 7, 12}  
 204 {8, 9, 11, 10, 12, 7, 6}  
 205 {8, 9, 12, 10, 6, 7, 11}  
 206 {8, 10, 6, 7, 12, 9, 11}  
 207 {8, 10, 6, 9, 11, 12, 7}  
 208 {8, 10, 6, 11, 9, 12, 7}  
 209 {8, 10, 7, 12, 11, 9, 6}  
 210 {8, 10, 9, 7, 6, 11, 12}  
 211 {8, 10, 9, 12, 11, 6, 7}  
 212 {8, 10, 11, 6, 9, 7, 12}  
 213 {8, 10, 11, 9, 6, 7, 12}  
 214 {8, 10, 11, 12, 7, 6, 9}  
 215 {8, 10, 11, 12, 7, 9, 6}  
 216 {8, 10, 12, 7, 6, 11, 9}  
 217 {8, 10, 12, 7, 9, 11, 6}  
 218 {8, 10, 12, 9, 11, 6, 7}  
 219 {8, 11, 7, 6, 10, 12, 9}  
 220 {8, 11, 7, 10, 6, 9, 12}  
 221 {8, 11, 7, 10, 12, 9, 6}  
 222 {8, 11, 9, 12, 6, 7, 10}  
 223 {8, 11, 9, 12, 10, 7, 6}  
 224 {8, 11, 10, 7, 9, 6, 12}  
 225 {8, 11, 12, 6, 9, 7, 10}  
 226 {8, 12, 9, 6, 10, 7, 11}  
 227 {8, 12, 9, 10, 6, 7, 11}  
 228 {8, 12, 9, 10, 6, 11, 7}  
 229 {8, 12, 10, 9, 6, 11, 7}  
 230 {8, 12, 10, 9, 7, 11, 6}  
 231 {8, 12, 11, 6, 7, 9, 10}  
 232 {8, 12, 11, 7, 6, 9, 10}  
 233 {8, 12, 11, 7, 10, 9, 6}  
 234 {8, 12, 11, 10, 7, 9, 6}  
 235 {8, 12, 11, 10, 9, 6, 7}  
 236 {8, 12, 11, 10, 9, 7, 6}  
 237 {9, 6, 7, 10, 11, 8, 12}  
 238 {9, 6, 7, 12, 8, 10, 11}  
 239 {9, 6, 7, 12, 11, 10, 8}  
 240 {9, 6, 8, 11, 7, 10, 12}

18

241 {9, 6, 8, 12, 7, 10, 11}  
 242 {9, 6, 8, 12, 7, 11, 10}  
 243 {9, 6, 8, 12, 10, 7, 11}  
 244 {9, 6, 8, 12, 10, 11, 7}  
 245 {9, 6, 10, 7, 11, 8, 12}  
 246 {9, 6, 10, 12, 8, 11, 7}  
 247 {9, 6, 12, 8, 11, 10, 7}  
 248 {9, 7, 6, 11, 10, 8, 12}  
 249 {9, 7, 6, 11, 12, 8, 10}  
 10 250 {9, 7, 6, 12, 8, 11, 10}  
 251 {9, 7, 8, 6, 11, 12, 10}  
 252 {9, 7, 8, 10, 12, 11, 6}  
 253 {9, 7, 8, 11, 6, 12, 10}  
 254 {9, 7, 8, 11, 10, 12, 6}  
 255 {9, 7, 10, 12, 11, 8, 6}  
 256 {9, 7, 11, 6, 8, 12, 10}  
 257 {9, 7, 11, 10, 12, 8, 6}  
 258 {9, 7, 12, 10, 8, 6, 11}  
 259 {9, 7, 12, 10, 11, 6, 8}  
 20 260 {9, 7, 12, 11, 6, 8, 10}  
 261 {9, 7, 12, 11, 10, 8, 6}  
 262 {9, 8, 6, 10, 11, 7, 12}  
 263 {9, 8, 6, 10, 12, 7, 11}  
 264 {9, 8, 7, 11, 12, 10, 6}  
 265 {9, 8, 10, 11, 12, 7, 6}  
 266 {9, 8, 12, 10, 6, 7, 11}  
 267 {9, 8, 12, 10, 11, 7, 6}  
 268 {9, 10, 6, 8, 7, 11, 12}  
 269 {9, 10, 6, 8, 12, 11, 7}  
 30 270 {9, 10, 8, 7, 6, 11, 12}  
 271 {9, 10, 8, 12, 11, 6, 7}  
 272 {9, 10, 12, 8, 6, 7, 11}  
 273 {9, 10, 12, 8, 6, 11, 7}  
 274 {9, 10, 12, 8, 7, 6, 11}  
 275 {9, 10, 12, 8, 7, 11, 6}  
 276 {9, 10, 12, 11, 6, 7, 8}  
 277 {9, 10, 12, 11, 6, 8, 7}  
 278 {9, 10, 12, 11, 7, 6, 8}  
 279 {9, 10, 12, 11, 7, 8, 6}  
 40 280 {9, 11, 6, 7, 8, 10, 12}  
 281 {9, 11, 6, 7, 12, 10, 8}  
 282 {9, 11, 6, 8, 7, 12, 10}  
 283 {9, 11, 6, 8, 10, 12, 7}  
 284 {9, 11, 7, 8, 6, 10, 12}  
 285 {9, 11, 7, 12, 10, 6, 8}  
 286 {9, 11, 8, 6, 7, 10, 12}  
 287 {9, 11, 10, 7, 12, 6, 8}  
 288 {9, 11, 12, 6, 8, 7, 10}  
 289 {9, 11, 12, 7, 6, 8, 10}  
 50 290 {9, 11, 12, 7, 8, 6, 10}

19

291 {9, 11, 12, 7, 8, 10, 6}  
 292 {9, 11, 12, 7, 10, 8, 6}  
 293 {9, 11, 12, 10, 6, 8, 7}  
 294 {9, 11, 12, 10, 7, 8, 6}  
 295 {9, 11, 12, 10, 8, 6, 7}  
 296 {9, 11, 12, 10, 8, 7, 6}  
 297 {9, 12, 6, 10, 7, 8, 11}  
 298 {9, 12, 8, 6, 10, 7, 11}  
 299 {9, 12, 8, 11, 7, 6, 10}  
 300 {9, 12, 8, 11, 7, 10, 6}  
 301 {9, 12, 10, 6, 7, 11, 8}  
 302 {9, 12, 10, 6, 8, 11, 7}  
 303 {9, 12, 10, 6, 11, 7, 8}  
 304 {9, 12, 10, 6, 11, 8, 7}  
 305 {9, 12, 10, 7, 11, 8, 6}  
 306 {9, 12, 10, 8, 11, 6, 7}  
 307 {9, 12, 11, 6, 10, 8, 7}  
 308 {10, 6, 7, 11, 8, 9, 12}  
 309 {10, 6, 7, 11, 8, 12, 9}  
 310 {10, 6, 8, 7, 12, 11, 9}  
 311 {10, 6, 8, 9, 11, 7, 12}  
 312 {10, 6, 8, 9, 12, 7, 11}  
 313 {10, 6, 9, 8, 12, 7, 11}  
 314 {10, 6, 9, 12, 8, 11, 7}  
 315 {10, 7, 6, 9, 12, 8, 11}  
 316 {10, 7, 6, 12, 9, 11, 8}  
 317 {10, 7, 8, 6, 12, 11, 9}  
 318 {10, 7, 8, 11, 9, 12, 6}  
 319 {10, 7, 9, 6, 12, 11, 8}  
 320 {10, 7, 9, 12, 11, 8, 6}  
 321 {10, 7, 11, 8, 6, 9, 12}  
 322 {10, 7, 11, 8, 12, 9, 6}  
 323 {10, 8, 6, 7, 9, 11, 12}  
 324 {10, 8, 6, 7, 12, 11, 9}  
 325 {10, 8, 6, 11, 9, 7, 12}  
 326 {10, 8, 6, 11, 9, 12, 7}  
 327 {10, 8, 6, 11, 12, 7, 9}  
 328 {10, 8, 6, 11, 12, 9, 7}  
 329 {10, 8, 7, 9, 12, 11, 6}  
 330 {10, 8, 7, 12, 9, 11, 6}  
 331 {10, 8, 9, 11, 12, 7, 6}  
 332 {10, 8, 11, 6, 7, 9, 12}  
 333 {10, 8, 11, 12, 9, 6, 7}  
 334 {10, 8, 11, 12, 9, 7, 6}  
 335 {10, 8, 12, 7, 9, 6, 11}  
 336 {10, 8, 12, 9, 7, 6, 11}  
 337 {10, 8, 12, 11, 6, 7, 9}  
 338 {10, 8, 12, 11, 6, 9, 7}  
 339 {10, 9, 6, 7, 11, 12, 8}  
 340 {10, 9, 7, 6, 11, 12, 8}

20

341 {10, 9, 7, 8, 6, 11, 12}  
 342 {10, 9, 7, 8, 12, 11, 6}  
 343 {10, 9, 8, 7, 6, 12, 11}  
 344 {10, 9, 8, 12, 11, 7, 6}  
 345 {10, 9, 11, 12, 6, 7, 8}  
 346 {10, 9, 11, 12, 6, 8, 7}  
 347 {10, 9, 12, 8, 6, 11, 7}  
 348 {10, 9, 12, 8, 7, 11, 6}  
 349 {10, 11, 7, 6, 9, 8, 12}  
 10 350 {10, 11, 7, 9, 6, 8, 12}  
 351 {10, 11, 7, 12, 8, 6, 9}  
 352 {10, 11, 7, 12, 8, 9, 6}  
 353 {10, 11, 8, 9, 7, 6, 12}  
 354 {10, 11, 8, 12, 6, 7, 9}  
 355 {10, 11, 8, 12, 6, 9, 7}  
 356 {10, 11, 9, 7, 12, 6, 8}  
 357 {10, 11, 9, 8, 6, 12, 7}  
 358 {10, 11, 9, 8, 7, 12, 6}  
 359 {10, 11, 12, 6, 7, 9, 8}  
 20 360 {10, 11, 12, 8, 9, 7, 6}  
 361 {10, 12, 6, 8, 7, 9, 11}  
 362 {10, 12, 6, 11, 8, 7, 9}  
 363 {10, 12, 6, 11, 9, 7, 8}  
 364 {10, 12, 7, 6, 8, 9, 11}  
 365 {10, 12, 7, 8, 6, 11, 9}  
 366 {10, 12, 7, 9, 11, 6, 8}  
 367 {10, 12, 7, 11, 9, 6, 8}  
 368 {10, 12, 7, 11, 9, 8, 6}  
 369 {10, 12, 8, 6, 11, 7, 9}  
 30 370 {10, 12, 9, 6, 8, 11, 7}  
 371 {10, 12, 9, 7, 8, 11, 6}  
 372 {10, 12, 9, 7, 11, 6, 8}  
 373 {10, 12, 9, 7, 11, 8, 6}  
 374 {10, 12, 9, 8, 11, 7, 6}  
 375 {10, 12, 11, 6, 8, 7, 9}  
 376 {10, 12, 11, 9, 7, 8, 6}  
 377 {10, 12, 11, 9, 8, 7, 6}  
 378 {11, 6, 7, 8, 12, 10, 9}  
 379 {11, 6, 7, 9, 10, 8, 12}  
 40 380 {11, 6, 7, 9, 12, 8, 10}  
 381 {11, 6, 8, 7, 9, 10, 12}  
 382 {11, 6, 8, 10, 12, 7, 9}  
 383 {11, 6, 8, 10, 12, 9, 7}  
 384 {11, 6, 9, 7, 12, 8, 10}  
 385 {11, 6, 12, 10, 9, 7, 8}  
 386 {11, 7, 6, 8, 9, 10, 12}  
 387 {11, 7, 6, 8, 12, 10, 9}  
 388 {11, 7, 6, 10, 9, 8, 12}  
 389 {11, 7, 6, 10, 9, 12, 8}  
 50 390 {11, 7, 6, 10, 12, 8, 9}

21

391 {11, 7, 6, 10, 12, 9, 8}  
 392 {11, 7, 8, 9, 12, 10, 6}  
 393 {11, 7, 8, 12, 9, 10, 6}  
 394 {11, 7, 10, 6, 8, 12, 9}  
 395 {11, 7, 10, 6, 9, 12, 8}  
 396 {11, 7, 10, 12, 8, 6, 9}  
 397 {11, 7, 10, 12, 9, 6, 8}  
 398 {11, 7, 12, 8, 9, 6, 10}  
 399 {11, 7, 12, 9, 8, 6, 10}  
 400 {11, 7, 12, 10, 6, 8, 9}  
 401 {11, 7, 12, 10, 6, 9, 8}  
 402 {11, 8, 6, 9, 12, 10, 7}  
 403 {11, 8, 7, 10, 6, 12, 9}  
 404 {11, 8, 10, 7, 6, 9, 12}  
 405 {11, 8, 12, 9, 6, 7, 10}  
 406 {11, 8, 12, 9, 6, 10, 7}  
 407 {11, 9, 6, 8, 10, 7, 12}  
 408 {11, 9, 6, 8, 10, 12, 7}  
 409 {11, 9, 7, 8, 6, 12, 10}  
 410 {11, 9, 7, 12, 10, 8, 6}  
 411 {11, 9, 8, 6, 7, 12, 10}  
 412 {11, 9, 8, 10, 6, 7, 12}  
 413 {11, 9, 8, 10, 12, 7, 6}  
 414 {11, 9, 10, 12, 6, 7, 8}  
 415 {11, 9, 10, 12, 6, 8, 7}  
 416 {11, 9, 12, 6, 10, 7, 8}  
 417 {11, 9, 12, 7, 6, 10, 8}  
 418 {11, 9, 12, 7, 8, 10, 6}  
 419 {11, 9, 12, 7, 10, 6, 8}  
 420 {11, 9, 12, 7, 10, 8, 6}  
 421 {11, 10, 7, 12, 8, 6, 9}  
 422 {11, 10, 8, 6, 9, 7, 12}  
 423 {11, 10, 8, 9, 6, 7, 12}  
 424 {11, 10, 8, 12, 7, 6, 9}  
 425 {11, 10, 8, 12, 7, 9, 6}  
 426 {11, 10, 9, 8, 12, 6, 7}  
 427 {11, 10, 12, 6, 8, 9, 7}  
 428 {11, 10, 12, 7, 9, 8, 6}  
 429 {11, 12, 6, 7, 8, 9, 10}  
 430 {11, 12, 6, 10, 9, 8, 7}  
 431 {11, 12, 8, 10, 7, 9, 6}  
 432 {11, 12, 8, 10, 9, 6, 7}  
 433 {11, 12, 8, 10, 9, 7, 6}  
 434 {11, 12, 9, 7, 10, 8, 6}  
 435 {11, 12, 10, 9, 7, 8, 6}  
 436 {11, 12, 10, 9, 8, 7, 6}  
 437 {12, 6, 7, 9, 8, 11, 10}  
 438 {12, 6, 9, 7, 10, 11, 8}  
 439 {12, 6, 11, 10, 9, 7, 8}  
 440 {12, 7, 6, 9, 8, 10, 11}

22

441 {12, 7, 6, 9, 11, 10, 8}  
 442 {12, 7, 6, 10, 8, 9, 11}  
 443 {12, 7, 6, 10, 11, 9, 8}  
 444 {12, 7, 9, 6, 8, 10, 11}  
 445 {12, 7, 9, 6, 11, 10, 8}  
 446 {12, 7, 9, 11, 6, 8, 10}  
 447 {12, 7, 9, 11, 10, 8, 6}  
 448 {12, 7, 10, 8, 6, 9, 11}  
 449 {12, 7, 10, 11, 9, 6, 8}  
 10 450 {12, 7, 11, 9, 8, 6, 10}  
 451 {12, 7, 11, 10, 6, 8, 9}  
 452 {12, 7, 11, 10, 6, 9, 8}  
 453 {12, 8, 6, 9, 7, 11, 10}  
 454 {12, 8, 6, 9, 10, 11, 7}  
 455 {12, 8, 9, 6, 7, 11, 10}  
 456 {12, 8, 9, 6, 10, 11, 7}  
 457 {12, 8, 9, 10, 6, 7, 11}  
 458 {12, 8, 9, 10, 11, 7, 6}  
 459 {12, 8, 10, 9, 7, 6, 11}  
 20 460 {12, 8, 10, 11, 6, 7, 9}  
 461 {12, 8, 10, 11, 6, 9, 7}  
 462 {12, 8, 11, 7, 10, 6, 9}  
 463 {12, 8, 11, 10, 7, 6, 9}  
 464 {12, 8, 11, 10, 7, 9, 6}  
 465 {12, 9, 6, 7, 10, 8, 11}  
 466 {12, 9, 6, 8, 11, 7, 10}  
 467 {12, 9, 6, 10, 7, 11, 8}  
 468 {12, 9, 7, 6, 11, 8, 10}  
 469 {12, 9, 8, 11, 7, 6, 10}  
 30 470 {12, 9, 10, 6, 11, 7, 8}  
 471 {12, 9, 11, 6, 10, 8, 7}  
 472 {12, 9, 11, 7, 10, 6, 8}  
 473 {12, 9, 11, 8, 6, 10, 7}  
 474 {12, 9, 11, 8, 7, 10, 6}  
 475 {12, 9, 11, 8, 10, 6, 7}  
 476 {12, 9, 11, 8, 10, 7, 6}  
 477 {12, 10, 6, 8, 7, 11, 9}  
 478 {12, 10, 7, 6, 8, 11, 9}  
 479 {12, 10, 7, 9, 11, 8, 6}  
 40 480 {12, 10, 7, 11, 8, 6, 9}  
 481 {12, 10, 7, 11, 9, 6, 8}  
 482 {12, 10, 8, 6, 11, 9, 7}  
 483 {12, 10, 8, 7, 6, 11, 9}  
 484 {12, 10, 8, 7, 9, 11, 6}  
 485 {12, 10, 9, 7, 8, 6, 11}  
 486 {12, 10, 9, 7, 11, 6, 8}  
 487 {12, 10, 9, 8, 6, 7, 11}  
 488 {12, 10, 9, 11, 6, 7, 8}  
 489 {12, 10, 9, 11, 6, 8, 7}  
 50 490 {12, 10, 9, 11, 7, 6, 8}

23

491 {12, 10, 9, 11, 7, 8, 6}  
 492 {12, 10, 11, 7, 9, 8, 6}  
 493 {12, 11, 6, 7, 8, 10, 9}  
 494 {12, 11, 6, 7, 9, 10, 8}  
 495 {12, 11, 6, 8, 7, 9, 10}  
 496 {12, 11, 6, 8, 10, 9, 7}  
 497 {12, 11, 7, 8, 6, 10, 9}  
 498 {12, 11, 7, 8, 9, 10, 6}  
 499 {12, 11, 8, 10, 7, 9, 6}  
 500 {12, 11, 9, 7, 6, 8, 10}  
 501 {12, 11, 9, 7, 10, 8, 6}  
 502 {12, 11, 9, 10, 6, 8, 7}  
 503 {12, 11, 9, 10, 7, 8, 6}  
 504 {12, 11, 9, 10, 8, 6, 7}  
 505 {12, 11, 9, 10, 8, 7, 6}  
 506 {12, 11, 10, 8, 9, 7, 6}

【0017】波長数が8以下でも将来波長数の増設の可能性がある場合等や、8波以上であるが8波を超えるものがモニタ光等で大きく波長が外れているものがある、あるいは光パワーが小さくFWM光の影響が小さいもの等がある場合などの時にもこの配置は適用可能である。また、8以外のnの値を用いて計算することもできる。nの値が小さいときは線形計画法によらずとも容易に最適解が得られる。例えばnが3であり、 $n_{smin}$ が1であるとき $\{m_1, m_2\} = \{1, 2\}, \{2, 1\}$ が直ちに得られる。

【0018】最小チャネルセパレーション $\Delta f_{min} = 0.8, 1.2, 1.6$ nmとした時の $n_{smin}$ 、 $\Delta f_{s-f}$ 、信号所要帯域幅の関係を図4に示す。図4において、最小スロット数 $n_{smin}$ が大きくなるほど等間隔の場合の所要帯域幅( $\Delta f_{min} \times 7$ )に漸近していくがFWM光との最小セパレーション $\Delta f_{s-f}$ が小さくなっていくのでFWM光の影響が大きくなるのがわかる。

【0019】不等間隔配置では等間隔配置に比べ高い信号波長制御精度が要求される。信号波長の制御精度が $\Delta f_{sift}$ である場合(1)式よりFWM光は最悪 $3\Delta f_{sift}$ 波長が変動し、信号光自身の波長変動を考慮すると相対的に信号光とFWM光の波長間隔は $4\Delta f_{sift}$ 変動する。同様に、FWMのスペクトル拡がり $\Delta \nu_{FWM}$ は最悪信号光のスペクトル拡がり $\Delta \nu_s$ の3倍になる。例えば、受信信号帯域幅を10GHz、 $\Delta f_{sift} = 6$ GHz、 $\Delta \nu_s = 10$ GHz ( $\Delta \nu_{FWM} = 30$ GHz)とすると図5に示す様に $\Delta f_{s-f}$ は少なくとも約50GHz以上必要になると考えられる。光合分波器22、30の遮断特性を考慮して $\Delta f_{min} > 100$ GHz (0.8nm)、光増幅器24、26、28の利得帯域<20nm程度とすると図4より $n_{smin} = 2 \sim 4$ 、 $\Delta f_{s-f} = 0.4$ nm (=約50GHz)の近傍が現実的な値と考えられる。

【0020】 $n_{smin} = 3$ 、 $m_1 \sim m_7 = \{3, 6, 7, 4, 8, 10, 5\}$ 、 $\Delta f_{s-f} = 0.4$ nm、 $\Delta f$

24

$\alpha_{in} = 1$ 、2nmにおける等間隔配置と不等間隔配置の場合のFWM光スペクトルの計算結果をそれぞれ図6と図7に示す。図6及び7の縦軸はFWM光パワーと信号光パワーの比、横軸はスロット番号、図中下向きの矢印の位置に信号があるものとしている。DSFの長さ75km、入力光パワー $P_{in} = 10$  dBm/ch (CW)、FWM光発生に伴う信号光の減衰は無し、全チャンネルの偏光方向は同一、零分散波長 $\lambda_0$ は信号帯域のほぼ中央に位置するものとして計算した。図7の等間隔配置では信号光波長にFWMが大きく発生しているが上記の計算結果から求められた図6の不等間隔配置では影響を受けない。不等間隔配置によりFWMの影響を回避できる。前述の配置一覧のどの配置を用いても結果は同様である。

【0021】上述したように $\Delta f_{s-f}$ の変動が大きな場合や透過特性がブロードな光フィルタを用いた場合等ではFWM光が受信信号帯域内に入ってくる可能性がある。そのため、信号光から $\Delta f_{s-f}$ だけ離れた最も近い位置に発生するFWM光はできるだけ小さい方が望ましい。 $n_{smin} = 3$ の場合の10個の組み合わせ各々について、 $\lambda_0$ をスロット上で1ポイントずつ移動させ各ポイントで最も大きな隣接FWM光の大きさを計算した。結果を図8～17に示す。計算条件は図6及び7と同じで、横軸の左から右に波長が大きくなっていくものとした。また、前述の配置についても左から右に波長が大きくなり、すなわち光周波数が小さくなるものとする。

【0022】実際の $\lambda_0$ はファイバの長手方向にばらつきがあるのが普通である。 $\lambda_0$ が位置するスロットの番号が小さいとき隣接FWM光の最大パワーが小さいのは図15の場合であるから、 $\lambda_0$ あるいは $\lambda_0$ のばらつきの中心値が信号帯域の短波長寄りにある場合には、前述の配置一覧 $n_{smin} = 3$ の場合の8番目の配置 $\{5, 10, 8, 4, 7, 6, 3\}$ が隣接FWM光の最大値が小さいので好ましい。 $\lambda_0$ が位置するスロット番号が大きいとき隣接FWM光の最大パワーが小さいのは図8の場合であるから、 $\lambda_0$ 又は $\lambda_0$ のばらつきの中心値が長波長寄りにある場合には1番目の配置 $\{3, 6, 7, 4, 8, 10, 5\}$ が良い。0dBに近い極大値の数が少ないのは図10及び図14の場合であるから、 $\lambda_0$ が中心付近にある場合、 $\lambda_0$ が不確定な場合あるいは何処にあってクロストークの影響を比較的小さくするためには3、7番目の配置 $\{3, 8, 7, 6, 10, 4, 5\}$ 及び $\{5, 4, 10, 6, 7, 8, 3\}$ が良い。

【0023】

【発明の効果】本発明により、 $\lambda_0$ 近傍においても狭い信号帯域でチャンネルを配置でき、FWMのクロストークの影響を回避し安定な伝送が可能になる。また、本発明では等間隔に並んだスロット上で不等間隔配置を行なっているため世界的な通信標準規格であるITU等の波長配置の規格グリッドとの整合性が良い(規格グリッドは現在ITU会議で検討中)。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明が適用される波長分割多重光伝送システムのブロック図である。

【図2】等間隔配置の場合のFWMによるクロストークの影響を説明する図である。

【図3】本発明の手法を説明するための図である。

【図4】最小スロット数 $n_{smin}$ と所要帯域幅との関係を示すグラフ。

【図5】スロット間隔 $\Delta f_{s-f}$ の決定方法を説明する図である。

【図6】不等間隔配置におけるFWM光の計算結果の図である。

【図7】等間隔配置におけるFWM光の計算結果の図である。

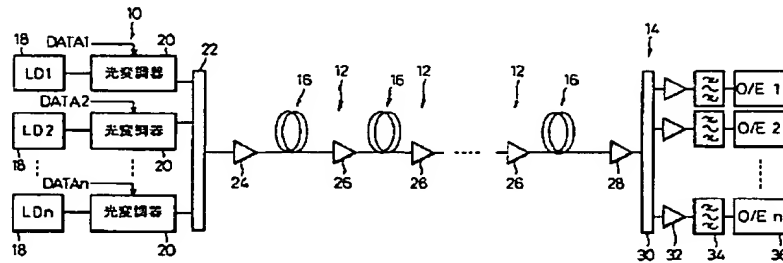
【図8】 $n_{smin} = 3$ の第1番目の配置における零分散波長と隣接FWM光パワーの関係を示すグラフである。

【図9】 $n_{smin} = 3$ の第2番目の配置における零分散波長と隣接FWM光パワーの関係を示すグラフである。

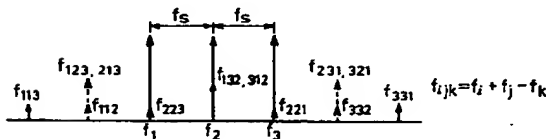
【図10】 $n_{smin} = 3$ の第3番目の配置における零分散波長と隣接FWM光パワーの関係を示すグラフである。

【図11】 $n_{smin} = 3$ の第4番目の配置における零分散波長と隣接FWM光パワーの関係を示すグラフである。

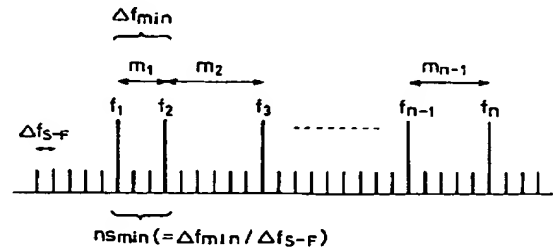
【図1】



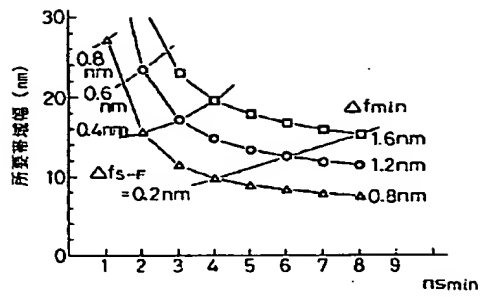
【図2】



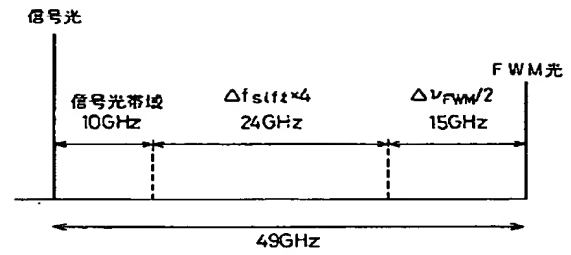
【図3】



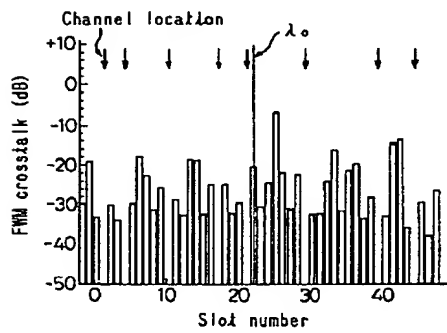
【図4】



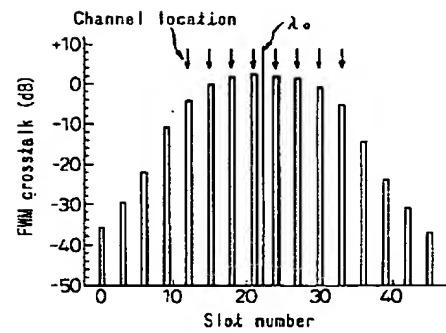
【図5】



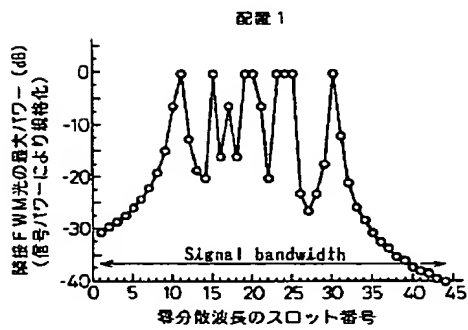
【図6】



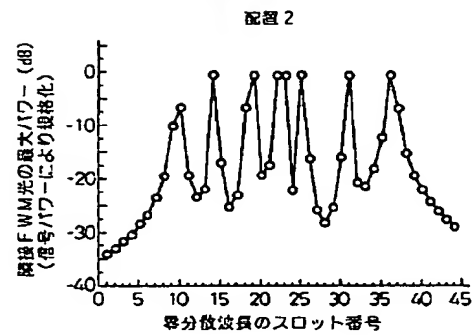
【図7】



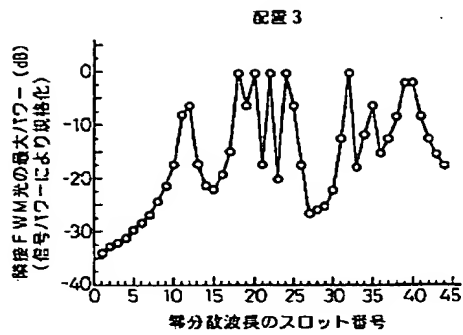
【図8】



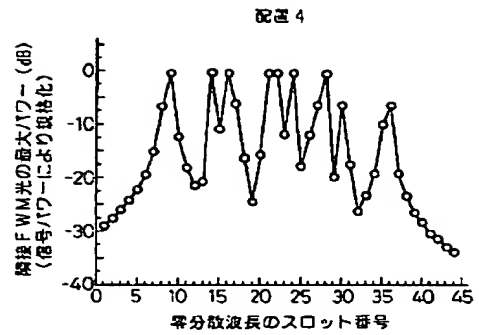
【図9】



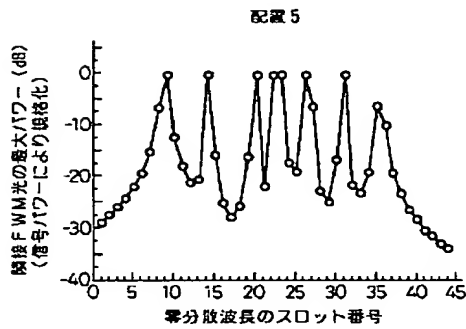
【図10】



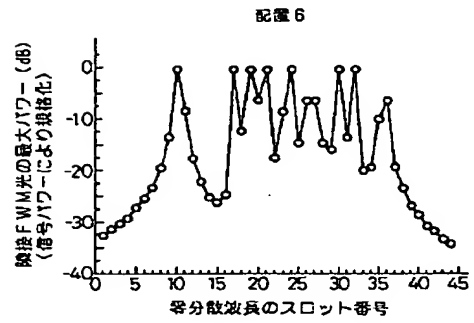
【図11】



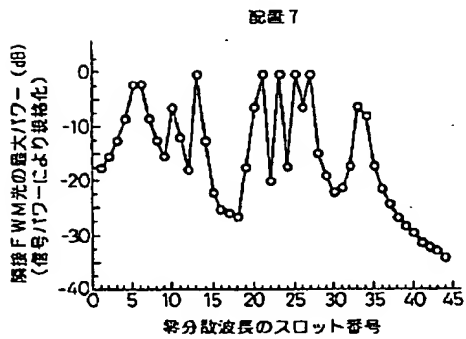
【図12】



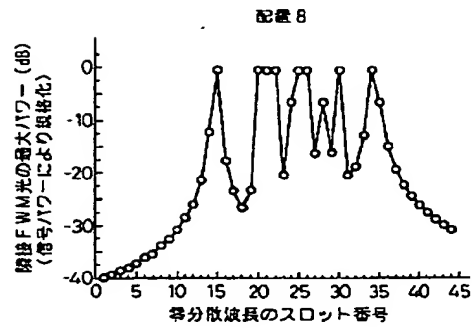
【図13】



【図14】

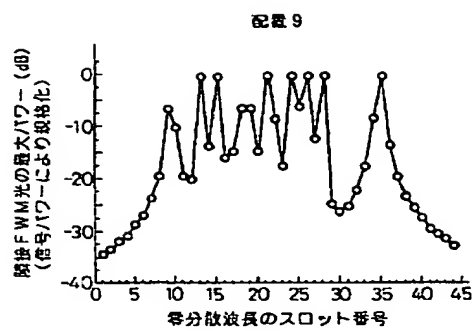


【図15】





【図16】



【図17】

